



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO  
CURSO BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SAMILE CHAVES DE ANDRADE

**PAINÉIS SOLARES: PROCESSOS OXIDATIVOS ATRELADOS**

ANGICOS

2022

SAMILE CHAVES DE ANDRADE

**PAINÉIS SOLARES: PROCESSOS OXIDATIVOS ATRELADOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Damilson Ferreira dos Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Leda Maria Oliveira de Lima

ANGICOS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C512p Chaves de Andrade, Samile.  
Painéis solares: processos oxidativos  
atrelados / Samile Chaves de Andrade. - 2022.  
30 f. : il.

Orientador: Damilson Ferreira dos Santos.  
Coorientador: Leda Maria Oliveira de Lima.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e  
Tecnologia, 2022.

1. Energia. 2. Painéis. 3. Corrosões. 4.  
Eficácia. I. Ferreira dos Santos, Damilson,  
orient. II. Oliveira de Lima, Leda Maria, co-  
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos  
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte  
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

SAMILE CHAVES DE ANDRADE

**PAINÉIS SOLARES: PROCESSOS OXIDATIVOS ATRELADOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 28/11/2022

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Damilson Ferreira dos Santos (UFERSA)  
Presidente

---

Profa. Dra Leda Maria Oliveira de Lima. (UFERSA)  
Membro Examinador

---

Dra.Fernanda Maria de Oliveira (UFERSA)  
Membro Examinador

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida e por me ajudar a enfrentar todos os obstáculos encontrados durante a vida, meu guia, autor do meu destino e socorro presente na hora da angústia. Grata, por Ele ter me protegido de qualquer armadilha do inimigo e ter colocado pessoas maravilhosas neste ciclo tão inquieto.

Agradeço a mãe, Francisca Francegilça Chaves, por tudo que fez por mim. Pelos sermões, pois sem eles eu não teria chegado onde estou hoje. Além de me incentivar nos momentos mais difíceis e compreender a minha ausência. Reconheço todo o sacrifício que ela faz para que eu conquiste tudo aquilo que almejo. E também, por ter se feito presente, durante todo o período em que estive distante por conta dos meus estudos.

Agradeço ao meu orientador, Damilson Ferreira dos Santos, por toda a paciência e os ensinamentos repassados, que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Agradeço à banca examinadora, Fernanda Maria de Oliveira e Leda Maria Oliveira de Lima, que se disponibilizaram para correção deste trabalho e por se fazerem presente na apresentação para, infelizmente, criticar, assim como repassar os seus conhecimentos sobre o tema.

Agradeço aos meus amigos e às pessoas com quem convivi nos âmbitos da universidade, que mesmo nos piores momentos nunca desistiram de mim. Além de ser grata pelos incentivos e pela ajuda com o fornecimento de material para realizações das listas e estudos das provas.

Nenhuma engenharia constrói caráter, mas  
com caráter se faz os melhores  
engenheiros.

Jordan Lucas

## RESUMO

A energia solar é uma das fontes de energia renovável mais promissoras, que está em constante evolução mediante as tecnologias capazes de aperfeiçoar a eficiência energética dos painéis solares e ao mesmo tempo diminuir o custo unitário dos módulos solares. Sendo ele composto por uma camada geradora feita de silício dopado. Apesar de haver, diversos motivos que estimulam o uso, cada vez mais desse tipo de tecnologia, tais equipamento não estão imunes a processos que possam vir ocasionar algum tipo de dano. Neste sentido, é necessário não somente compreender os processos físico-químicos envolvidos na construção de tais painéis e conversão de energia, como também os problemas que podem ocorrer em sua estrutura. Por esse motivo, atualmente, é exigido novas especificações e cuidados para não causar rupturas que venham a danificar e assim apresentar uma problemática. Sendo de suma importância identificar os agentes causadores e evitá-los, podendo isso, ser devido a fatores climáticos ou negligência das instalações, dentre outros. Ocasionalmente, dessa maneira, a diminuição da eficiência na produção de energia. À vista disso, esse trabalho foi realizado a partir de estudos bibliográficos sobre corrosões em painéis solares e tem como objetivo buscar possíveis soluções, através de uma maneira eficaz e com um bom custo benefício de prevenção a processos com poder oxidantes, que degradam a estrutura dos painéis solares, fazendo com que o sistema fotovoltaico mantenha a eficácia do seu funcionamento por mais tempo sem manutenções em seu suporte.

**Palavras-chave:** energia; painéis; corrosões; eficácia.

## ABSTRACT

Solar energy is one of the most promising sources of renewable energy, which is constantly evolving through technologies capable of improving the energy efficiency of solar panels and at the same time reducing the unit cost of solar modules. It is composed of a generator layer made of doped silicon. Although there are several reasons that encourage the use of this type of technology more and more, such equipment is not immune to processes that may cause some type of damage. In this sense, it is necessary not only to understand the physical-chemical processes involved in the construction of such panels and energy conversion, but also the problems that can occur in their structure. For this reason, currently, new specifications and care are required so as not to cause ruptures that may damage and thus present a problem. It is extremely important to identify the causative agents and avoid them, which may be due to climatic factors or negligence of the facilities, among others. Thus causing a decrease in efficiency in energy production. In view of this, this work was carried out from bibliographical studies on corrosion in solar panels and aims to find possible solutions, through an effective and cost-effective way of preventing processes with oxidizing power, which degrade the structure of the solar panels, making the photovoltaic system maintain its effectiveness for a longer time without maintenance on its support.

**Keywords:** energy; panels; corrosions; efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |                                                                                 |    |
|-----------|---|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01 | - | Mapa anual da radiação solar no Brasil . . . . .                                | 15 |
| Figura 02 | - | Estrutura do painel solar. . . . .                                              | 20 |
| Figura 03 | - | Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. . . . .           | 21 |
| Figura 04 | - | Célula fotovoltaica . . . . .                                                   | 22 |
| Figura 05 | - | Painel fotovoltaico monocristalino e policristalino. . . . .                    | 23 |
| Figura 06 | - | Representação bidimensional de um cristal de silício dopado com gálio . . . . . | 24 |
| Figura 07 | - | Corrosão de painéis solares . . . . .                                           | 25 |

## **LISTA DE TABELAS**

|           |   |                                             |    |
|-----------|---|---------------------------------------------|----|
| Tabela 01 | – | Conclusões sobre os artigos estudados ..... | 27 |
|-----------|---|---------------------------------------------|----|

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|       |                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------|
| PERC  | Passivated Emitter and Rear Contact                                 |
| m-Si  | Silício monocristalino                                              |
| p-Si  | Silício policristalino                                              |
| EVA   | Etil Vinil Acetato                                                  |
| GEPEA | Grupo de Energia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo |

## SUMÁRIO

|            |                                               |           |
|------------|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                       | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>            | <b>16</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Aspectos históricos e conceitual .....</b> | <b>16</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Estrutura do painel solar.....</b>         | <b>20</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Oxidação .....</b>                         | <b>24</b> |
| <b>3</b>   | <b>METODOLOGIA .....</b>                      | <b>26</b> |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS .....</b>                       | <b>27</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>             | <b>29</b> |
| <b>6</b>   | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                      | <b>29</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescente avanço da tecnologia e com o intenso estudo das células solares, a energia fotovoltaica está em constante evolução, tornando-se cada vez mais eficiente e diminuindo o custo de sua produção. Tais fatos contribuem para que a demanda de consumo dessa energia tenha aumentado nos últimos anos.

Levando em consideração que, um dos maiores desafios da humanidade foi encontrar uma fonte de energia abundante, visto que, a conversão da radiação solar em energia elétrica não emite poluentes que venham agredir o meio ambiente e, dessa maneira, não influi no efeito estufa.

“A energia solar fotovoltaica é considerada como uma energia limpa, durante sua operação não há emissão de gases poluentes nem de ruídos, por isso ela apresenta um grande potencial de crescimento para o futuro energético e para o desenvolvimento sustentável” (SCOLLA, 2020).

Diversos grandes cientistas se debruçaram para buscar novas fontes de energia a fim de que, no futuro, possam substituir as fontes poluentes existentes, como por exemplo as provenientes do carvão mineral e do petróleo que, para gerar energia, elas precisam ser queimadas e, dessa forma, favorece a emissão de gases para o meio ambiente que causa danos à saúde humana.

Atualmente, sabe-se que a energia solar é uma fonte bastante promissora. Mas foi somente em 1939, que Becquerel estudou a ideia de converter a radiação da luz em energia elétrica ao iluminar um eletrodo mergulhado em uma solução eletrolítica. Tal feito permitiu a conversão de energia existente atualmente.

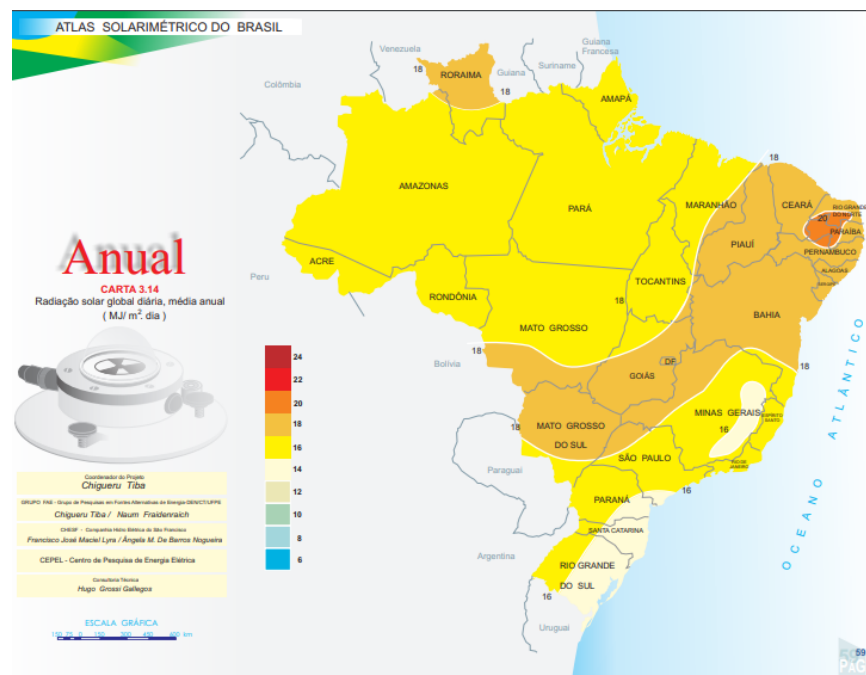
Apesar da alta procura na produção de energia solar ao redor do mundo, o cenário econômico brasileiro, não é tão favorável para produção desta energia, em comparação às outras fontes de energias renováveis. Embora, o país tenha uma alta demanda de radiação solar durante todo o ano.

“O Brasil se comparado à grandes potências europeias como Alemanha e Dinamarca apresenta potencial exploratório muito superior, e consegue superar largamente em disponibilidade países nos quais suas matrizes energéticas já apresentam graus mais desenvolvidos de exploração dessa fonte. Porém, em contraste com sua grande disponibilidade, sua representação dentro da matriz

energética brasileira é tímida e ainda bem reduzida em relação com outras fontes renováveis, estando drasticamente atrás da eólica e biomassa” (Silva et al., 2018)

O Brasil é um dos países mais favoráveis quanto à incidência de radiação solar anual conforme mostrado da Figura 01, sendo, os meses de outubro e novembro, os de maior demanda. No entanto, a produção de energia cai drasticamente durante à noite.

**Figura 01 - Mapa anual da radiação solar no Brasil**



Fonte: Moszkowicz et al (2000)

Apesar dos painéis solares representarem uma grande vantagem em termos de produção energética, os mesmos não estão isentos de apresentar alguns problemas, em seus componentes. Tal qual, podendo apresentar corrosão em suporte e também, em seus semicondutores.

Todavia, os processos oxidativos são causados principalmente por intempéries, tais como, a umidade do ar, nas estruturas ou equipamentos, cuja instalação esteja sujeita a essa ação. Em sistemas fotovoltaicos, essa corrosão ocorre devido a processos eletroquímicos que ocorrem na estrutura dos painéis solares, o que pode, dessa forma, causar instabilidade na sua infraestrutura, podendo assim propiciar em um mau funcionamento dos painéis solares.

Conforme mostra o livro sobre produção de energia, publicado pelo Grupo de Energia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - GEPEA:

“(…) ventos fortes podem distorcer as estruturas de sustentação e a água da chuva pode causar corrosão nas partes metálicas. Além disso, a expansão e contração do painel, provocados pelas variações na temperatura ambiente, podem causar rachaduras, curto-circuitos e desconexões” (GEPEA, p. 81, 2007)

Os problemas já mencionados podem acarretar em uma diminuição na eficiência de conversão e também, ocasionar uma manutenção que se tornaria recorrente, o que faz com que haja um aumento no custo para manter a estrutura como um todo.

Por isso, encontrar mecanismo para solucionar essa problemática seria uma boa maneira de otimizar a relação custo-benefício, tanto para o consumidor, quanto para a empresa que está responsável pela instalação e manutenção, pois isso pode oferecer precauções no monitoramento de seus serviços e garantiria a qualidade de seu produto.

O objetivo deste estudo foi apresentar possíveis soluções que previnam os processos oxidativos nos módulos solares, o qual acarreta em uma diminuição da eficácia da geração de energia ao longo dos anos.

Procurando trazer mais especificamente, uma visão geral dos módulos fotovoltaicos e seus componentes, o mecanismo de transformação da energia solar em energia elétrica, uma análise bibliográfica de artigos sobre o assunto, e também, apresentar sugestões que previnam o poder oxidante nas placas solares.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Aspecto histórico e conceitual**

A origem da energia solar se deu, como já foi citado, quando Alexandre Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico, após observar a diferença de potencial nas extremidades de uma estrutura semicondutora, quando foi incidida uma luz sobre ela.

Porém, a primeira célula fotovoltaica só foi desenvolvida em 1883 por Charles Fritts, sendo ela produzida por selênio revestido de ouro. A mesma, era responsável pela reação físico-química que gera energia elétrica através da captação dos raios solares, produzindo uma

corrente contínua e constante. Na época, a conversão elétrica era muito baixa, enquanto, atualmente, trabalha-se com uma eficiência de quase 50%.

Contudo, foi somente em 1930 que se deu a teoria do efeito fotovoltaico e criou-se a primeira célula fotovoltaica de mono-silício, que é o material que compõe as células fotovoltaicas. No entanto, o processo de dopagem de silício só se iniciou em 1954, pelo químico Calvin Fuller. E também, no mesmo ano, o cientista Russell Shoemaker desenvolveu a célula solar moderna, tal qual, a primeira placa de silício. Sendo, na sua primeira aplicação utilizada como fonte de alimentação de uma rede telefônica, na Georgia, Estados Unidos da América, em 1955.

‘A primeira célula solar moderna tinha apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW de potência elétrica. Cinquenta anos depois, em 2004, foram produzidas cerca de mil milhões de células, com eficiências da ordem dos 24,7%, alcançando a capacidade instalada mundial de energia solar superior a 8,2 GW em 2008, cerca de 57% da capacidade instalada de Itaipu. Os principais países produtores, curiosamente, estão situados em latitudes médias e altas. O maior produtor mundial é a Alemanha (com 3,86 GW instalados), seguido do Japão (com 1,91 GW) e Estados Unidos (830 MW)’ (AMBIENTE BRASIL, 2022).

No entanto, um dos grandes marcos da energia solar se deu em 1958, quando os programas espaciais deram início a utilização da energia renovável por meio dos painéis solares. No qual impulsionou a sua implementação nas residências.

Segundo o PORTAL SOLAR (2022), na década de 70, alguns engenheiros deram origem à primeira célula de silício amorfo, que contava com uma eficiência de 1,1%. Entretanto, com o passar dos anos, foi desenvolvida, a célula de filme fino, que contém 15,89% da sua eficácia. E já em 2006, obteve-se células fotovoltaicas produzidas de poli silício com uma eficiência de 40%.

“Um dos painéis mais antigos em funcionamento [...] foi fabricado em 1980 e ainda possui 50% da sua capacidade de produção de energia que ele tinha a 35 anos atrás. Mas levando em consideração a tecnologia atual, é razoável assumir que um painel solar de boa qualidade fabricado hoje dure 50 anos com 60% da sua capacidade de produzir energia elétrica.” (PORTAL SOLAR, 2022)

A criação das células fotovoltaicas é constituída por três gerações. Existindo assim vários tipos de células de diferentes materiais e diversas técnicas de fabricação. Onde a primeira geração utilizou silício cristalizado como material semicondutor. Já a segunda geração, desenvolveu células de filme fino. E, a última geração, ficou conhecida com a maior eficiência, utilizando a tecnologia para obter resultados em grande escala.

A primeira geração ficou conhecida como o silício de grau solar, subdividida em três partes. Onde, na primeira, a fabricação da célula fotovoltaica era utilizada silício cristalino, composta por uma lâmina de silício purificado dopado com boro e fósforo. Vindo, de antemão, as células fotovoltaicas de silício mono cristalizado, feito a partir de um cristal de silício. E então, na terceira parte, células de silício policristalino obtido do derretimento do silício purificado, no qual, quando resfriado se solidifica e assim consegue uma formação cristalina homogênea.

A segunda geração, foi marcada pela utilização da tecnologia de filme fino, na qual, era desenvolvida células de silício cristalizado com um menor custo já que havia uma diminuição na quantidade de matéria prima em sua fabricação, mas, apesar desses benefícios, a sua eficiência e a vida útil dessas células eram muito baixas.

O PORTAL SOLAR (2022) fala sobre o mecanismo da célula fotovoltaica de junção múltipla, na qual é descoberta e produzida durante a segunda geração, e nada mais é do que uma célula de filme fino com múltiplas camadas dopadas com diferentes tipos de materiais condutores. Dessa forma, a célula consegue uma maior eficiência ao utilizar um espectro eletromagnético mais amplo de radiação solar, já que cada material absorve fótons de ondas em diferentes frequências (alta e baixa).

Segundo o PORTAL SOLAR (2022), existem duas técnicas para fazer células com múltiplas junções. A primeira é uma pilha mecânica, onde cada camada da dopagem é considerada um dispositivo separado e recebe seus próprios contatos para capturar elétrons. A segunda é uma célula multijunção, onde as camadas semicondutoras são conectadas “em série”, de modo que toda a célula tenha apenas dois terminais, o frontal e o traseiro. Essa configuração é chamada de monolítica. Ambos os métodos de criação de células multijunção requerem processos complexos, o que complica ainda mais a fabricação de tais tecnologias.

Por fim, SILVA (2018), afirma que a terceira geração, contém cinco subdivisões, que se destacam pela utilização de tecnologias avançadas e pela sua eficiência. Sendo, a célula solar PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) fabricada com um silício cristalino mais fino e camadas de passivação que refletem melhor os raios solares e faz com ele atravesse novamente a célula aumentando assim a captação de elétrons. Em seguida, temos, a célula fotovoltaica

híbrida de heterojunção (HJT), no qual, é desenvolvida com camadas de silício amorfo puro e dopadas utilizadas nas células de filme fino onde tem sua eficiência aumentada em 20%, porém o seu custo é elevado devido à maior utilização da quantidade de matéria-prima. Prontamente, temos a célula solar de perovskita, um mineral com estrutura cristalina de titânio e óxido de cálcio. Sendo ela vantajosa pois são baratas de produzir e alcançaram altas eficiências porque respondem a uma faixa mais ampla de frequências no espectro eletromagnético na faixa visível.

Dentre elas, SILVA (2018) afirma que foi constatado a célula fotovoltaica orgânica, constituída de polímeros conjugados, que possuem uma eficiência muito baixa, variando de 0,1% as monocamadas simples e podendo chegar até 18% de eficiência as fabricadas em laboratório feitas pela técnica de heterojunção.

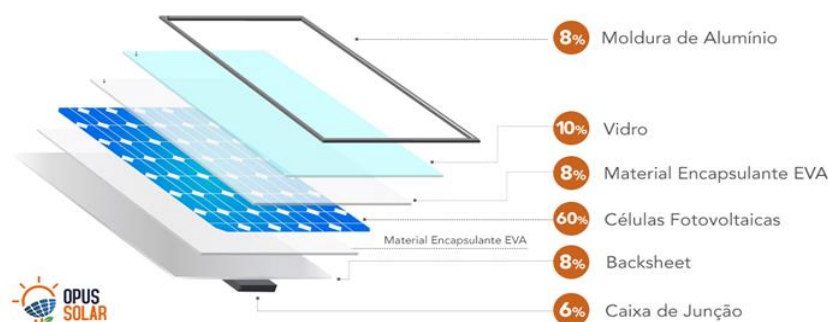
E por fim, as células Gratzel, que são células solares sensibilizadas por corante orgânicos, sendo obtidas a partir de um substrato com alta condutividade, e assim barateando a matéria-prima utilizada na fabricação e contém uma resistência mecânica, apesar da sua eficácia ser de 14%.

Sendo, atualmente, os painéis solares fabricados em processos individuais, garantindo que as células fotovoltaicas sejam colocadas corretamente. Tendo em vista que, o efeito de geração de energia elétrica se dá pela colisão das partículas existentes nos raios solares com as células fotovoltaicas, que por meio de uma reação físico-química transforma a captação da luz do sol em energia elétrica.

Dessa forma, quando essa colisão ocorre, os elétrons que estão de um lado da placa ganham energia suficiente para irem até o outro lado, criando dessa maneira um circuito que gera energia elétrica, são os efeitos fotoelétricos e fotovoltaicos.

Deve-se lembrar que, mesmo as placas de geração de energia fotovoltaica atuais sendo produzidas e protegidas por uma camada de vidro temperado, os módulos de geração são frágeis e quebram com o menor esforço, e com vibrações ou pequenas flexões, podem danificar os circuitos e conseqüentemente diminuir a sua eficiência. Como pode ser observado na Figura 02 a estrutura do módulo fotovoltaico com todas as camadas nela presente.

**Figura 02 - Estrutura do painel solar**



Fonte: <https://opussolar.com.br/conheca-o-processo-de-fabricacao-dos-paineis-solares/>. Acesso em: 25/11/2022

Mas, as preocupações do instalador e do projetista não devem ser apenas a estrutura, mencionadas anteriormente, como também, devem ser levadas em consideração o método de fixação em relação à durabilidade do material e à resistência à corrosão.

Também são adversidades os metais inadequados à circunscrição, metais com danos na camada de anodização e o desequilíbrio na liga dos metais. Sendo, a corrosão, causada por esses e outros fatores, um dos obstáculos enfrentados para que a base de fixação dos módulos tenha uma longa durabilidade. Esse desgaste no suporte dos painéis solares é preocupante, podendo, dessa forma, facilitar a sua instabilidade e assim afetar a eficiência do funcionamento dos painéis solares e sua integridade física.

## 2.2 Estrutura do painel solar

Um sistema fotovoltaico é composto por painéis solares, os quais, vão gerar uma corrente contínua para o inversor, que converte a uma corrente alternada para o medidor de energia que é interligado à rede elétrica, como mostrado na Figura 03. Esse sistema contém módulos fotovoltaicos, um ou mais inversores, um medidor quadrante e um sistema de proteção CC/CA.

**Figura 03** - Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica



Fonte: <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfcr-on-grid>.

Acesso em: 22/11/2022

Para conhecermos melhor o sistema, dividimos ele em três blocos. Sendo eles, o bloco de armazenamento, no qual, se localizam as baterias. Temos também, o bloco de condicionamento, onde ficam os inversores e os controladores de carga, além do bloco de geradores que é subdividido em estrutura, cabos e painéis.

As baterias, são utilizadas como fonte alternativa, e garante o fornecimento de energia para o sistema quando não há tanta incidência de radiação solar, como por exemplo durante à noite. Temos também, os inversores, que quando associados a um gerador carregam as baterias. Além do, controlador de carga, que protege a bateria no processo de carga e descarga das mesmas.

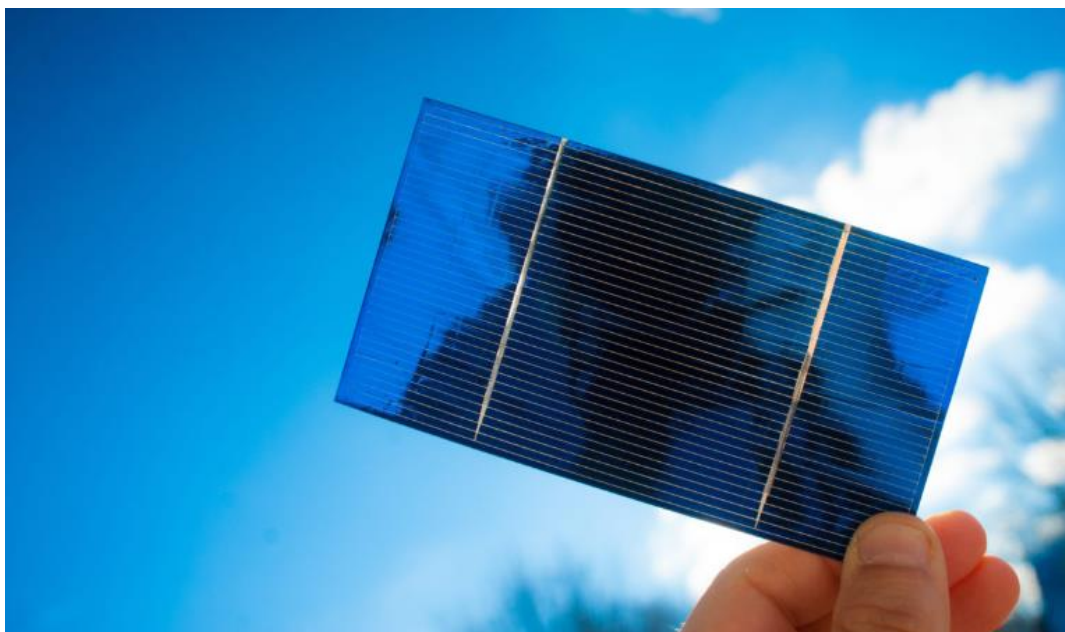
O suporte onde se encontram os módulos, são instalados com uma inclinação necessária, pois caso algo caia sobre os painéis, não fique sobre eles impedindo que a radiação solar incida sobre as células fotovoltaicas.

Juntamente com os cabos, que interligam todo o sistema e promove um fluxo de energia entre eles, temos também, os painéis solares que são responsáveis pela conversão da energia solar em energia elétrica.

Atualmente, os painéis solares são fabricados em um processo separado para garantir a colocação adequada das células fotovoltaicas. Lembre-se, o efeito da geração em eletricidade se deve à colisão das partículas presentes nos raios solares com as células fotovoltaicas, convertendo a luz solar captada em eletricidade por meio de uma reação físico-química.

É importante mencionar que é por meio das células fotovoltaicas, feitas de silício, que é produzido o efeito fotovoltaico. Ou seja, os painéis solares podem captar a luz solar através deles e convertê-la em eletricidade. Portanto, as células solares, como exemplificado na Figura 04, são uma das partes mais importantes na operação de sistemas fotovoltaicos.

**Figura 04 - Célula fotovoltaica**



Fonte: <https://www.fontesul.com.br/celula-fotovoltaica-o-que-e-e-quais-sao-seus-tipos/> Acesso em: 09/11/2022

Responsável pela conversão da energia da luz em eletricidade, a células fotovoltaica é produzida a partir de semicondutores, tendo em vista que, quanto mais sensíveis forem esses semicondutores mais apropriados serão para a conversão da luz solar.

Hoje em dia, o silício é o principal material de semicondutor para a conversão fotovoltaica da energia solar. Podendo ser dividido em duas cadeias produtivas: monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si). Sendo exemplificados na Figura 05.

O silício monocristalino é ideal para o transporte de elétrons pelo material por conta da sua estrutura molecular uniforme e pelo seu grau de purificação, com isso, pode-se levar em consideração que ele passa por vários processos em sua fabricação.

Já o silício policristalino, torna-se barato por conta do seu grau de impureza, visto que, utiliza processos simples de fabricação, contudo, é importante ressaltar que o seu material tem uma qualidade inferior à do silício monocristalino.

**Figura 05** - Painel fotovoltaico monocristalino e policristalino



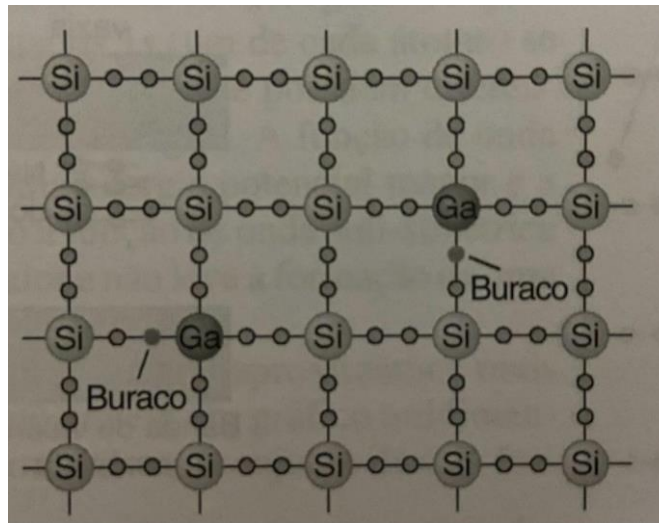
Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos---monocristalino-ou-policristalino---qual-a-melhor-dessas-duas-tecnologias-para-o-brasil>. Acesso em: 22/11/2022

Os semicondutores de silício passam por um processo de dopagem, no qual é adicionado impureza para que ele se torne mais condutor, podendo, serem dopadas com boro ou fósforo.

‘O Silício é um elemento da família 14 da tabela periódica, logo possui 4 elétrons em sua camada de valência. No processo de dopagem são inseridos átomos com mais ou menos elétrons na valência do que a espécie a ser dopada, sendo o Boro, que possui 3 elétrons, o mais comum para a dopagem positiva, ou de tipo P, e o Fósforo, com 5 elétrons, o mais comum para a dopagem negativa, ou de tipo N. A substituição de alguns átomos de Silício na placa por átomos de Boro origina pontos de falta de elétrons, enquanto por Fósforo gera pontos de excesso de elétrons, formando assim cargas positivas ou negativas ao longo de cada semicondutor’ (PET QUÍMICA,2022)

O silício por ter a camada de valência igual a quatro, ele precisa se ligar a um elemento com três ou cinco elétrons em sua camada para que dessa forma ele fique carregado negativamente e, conseqüentemente, o elétron livre perturbe a formação cristalina. Na Figura 06, é mostrado o sistema apresentado.

**Figura 06** - Representação bidimensional de um cristal de silício dopado com gálio.



Fonte: Tipler; 1999; p.310

A perturbação acontece quando ocorre a quebra de ligação dos átomos semicondutores. Isso é necessário para que possamos aproveitar a corrente elétrica dentro de um semicondutor.

Pois, durante a exposição solar em um módulo fotovoltaico, há uma criação de uma corrente elétrica, onde esse fenômeno é explicado pelo efeito fotovoltaico. Esse processo ocorre quando elétrons que são liberados dos fótons presentes nos raios solares, fluem sobre as células fotovoltaicas, gerando dessa maneira, energia elétrica.

“Em média, os módulos fotovoltaicos apresentam seu fim de vida após 25-30 anos de operação, quando apresentam cerca de 80% de eficiência nominal. Depois desse período sua eficiência cai consideravelmente, entre os principais processos degradativos, pode-se citar: a erosão da superfície de vidro, a degradação fotoquímica oxidativa do encapsulante, a difusão de cátions/ânions pela fase polimérica e a corrosão dos contatos” (PRADO, 2018).

## 2.3 Oxidações

A corrosão é vista como uma deterioração de um metal com o meio ambiente. E, ao longo dos estudos, foi observado que a oxidação dos painéis solares na maioria das vezes

começa pela borda inferior da estrutura, quase sempre associada a intempéries, como a umidade do ar.

A oxidação da estrutura do módulo fotovoltaico foi dividida de duas formas por NAVARRO (2020), sendo ela, uma corrosão localizada, na qual, permite em áreas pontuais a umidade, ou uma corrosão generalizada, onde no módulo não há nenhum tipo de proteção contra a corrosão.

Porém a corrosão é classificada em três tipos diferentes. Sendo elas, a corrosão química causada por agentes oxidantes na presença ou não de água. Ou então, a corrosão eletrolítica, que é causada por uma aplicação de corrente elétrica em um metal. Contudo, nenhuma dessas duas corrosões não acontecem de forma natural. Na Figura 07, mostra painéis solares em grande estado de degradação.

**Figura 07 - Corrosão de painéis solares**



Fonte: El-Gharabawy et al (2018)

Temos também a corrosão eletroquímica, onde um metal, de forma natural, entra em contato com um eletrólito, causando assim, uma transferência de elétrons. Tal processo se assemelha a corrosão galvânica, onde metais distintos corroem um ao outro por estarem em contato com um eletrólito.

‘E para que haja corrosão galvânica, é necessário que:

1. Existe um eletrólito conectado aos dois metais: o eletrólito no caso da estrutura exposta ao tempo são: a água presente na umidade do ar e a maresia;

2. Contato elétrico entre os dois metais: caso haja um isolante entre os dois metais, não haverá caminho para a corrente galvânica fluir, portanto a corrosão galvânica não ocorre;

3. Uma diferença em eletropositividade ou eletronegatividade maior do que 0,5V.

Em regiões litorâneas ou oceânicas o problema da corrosão dos metais é acentuado devido à salinidade e à elevada umidade do ambiente, dois aspectos que favorecem a formação de eletrólitos nas estruturas metálicas' (CANAL SOLAR, 2022).

Segundo EL-GHARABAWY (2018), o melhor custo benefício, são células fotovoltaicas fabricadas de aço inoxidável, por conta da sua alta resistência à corrosão, e também, ele não precisa de controle de corrosão, como por exemplo, embalagens poliméricas.

A prata é um importante metal quando o assunto são células fotovoltaicas de silício, pois para EL-GHARABAWY (2018), a pasta de prata é usada nas células de silício como uma alta fonte de absorção dos raios solares. Sendo este, um metal resistente à corrosão.

Normalmente, os conectores dos módulos fotovoltaicos são confeccionados em latão (liga de cobre e zinco), bronze (liga de estanho e cobre) ou cobre, que possuem maior eletronegatividade do que o alumínio. Sendo o alumínio mais eletropositivo, por esse motivo ele tende a desintegrar-se.

### **3 METODOLOGIA**

Esse trabalho consiste em uma revisão bibliográfica de artigos sobre os quais falam de processos oxidativos associados à estrutura dos painéis solares, bem como, as células fotovoltaicas. Sendo assim, tais artigos foram retirados do SciELO, do Cresesb, dentre outros sites, datados no período de publicação durante os anos 2000 a 2020. Sendo, o enfoque da revisão, encontrar possíveis soluções para tal problemática.

A corrosão nos painéis solares é um tema difícil de ser encontrado na literatura brasileira, e aparentemente pouco explorado, por conta disso, também foi inserido na revisão bibliográfica, artigos internacionais. Tendo em vista, que eles tinham um foco maior sobre o assunto abordado neste trabalho.

## 4 RESULTADOS

Foi observado que a maioria dos artigos falam sobre prevenções para que os painéis solares não oxidem. Sendo que, EL-GHARABAWY (2018) e PARK et al (2013), apontam etil vinil acetato como possível solução contra a corrosão causada pela umidade, como apresentado na tabela 01.

Tabela 01- Conclusões sobre os artigos estudados

| ANO  | TÍTULO / AUTORES                                                                                                        | MÉTODOS DE PREVENÇÃO                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2003 | Corrosion Effects in Thin-Film Photovoltaic Modules (Calson et al)                                                      | O trabalho aponta que a corrosão dos painéis solares pode ser minimizada, inibindo a entrada de umidade, limitando as tensões do módulo, aumentando a adesão do óxido condutor transparente na superfície do vidro e usando óxido de estanho como um condutor. |
| 2013 | Effect of Temperature and Humidity on the Degradation Rate of Multicrystalline Silicon Photovoltaic Module (Park et al) | O trabalho foi voltado a teste nos módulos fotovoltaicos, com temperatura e calor, chegando a conclusão de que a umidade pode ser solucionada com Etil Vinil Acetato (EVA).                                                                                    |
| 2014 | Análise da degradação de módulos fotovoltaicos com diferentes células solares (Zanescio et al)                          | O trabalho fala sobre a degradação dos módulos fotovoltaicos e a perda de sua eficiência ao longo dos anos. Porém, não especifica essa problemática à corrosão e, com isso, não trás nenhuma solução acerca do assunto.                                        |
| 2016 | Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba (Araujo et al)          | O trabalho fala abrangentemente sobre oxidação, mas não apresenta nenhuma conclusão sobre corrosões em painéis solares.                                                                                                                                        |
| 2017 | Corrosion behavior of crystalline silicon solar cells (Xiong et al)                                                     | Esse trabalho apresentou alguns experimentos feitos nos painéis solares, mas não apresentou nenhuma solução para tal problemática.                                                                                                                             |

|      |                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2018 | Review on Corrosion in Solar Panels (El-Gharabawy)                                                                       | O trabalho apresenta várias formas diferentes de tratamento e prevenção à corrosão dos painéis solares. Mas enaltece a estrutura de aço, o revestimento e polímero de embalagem como as mais importantes e eficazes sobre as medidas preventivas com a oxidação. |
| 2020 | Análise estrutural de cobertura metálica em arco para acréscimo de sobrecarga em um sistema fotovoltaico (Navarro et al) | O trabalho aponta vários problemas que podem levar a corrosão dos painéis solares, além de apresentar alguns tipos de corrosão que a placa pode sofrer. Porém ele não apresenta nenhuma solução para tais problemas.                                             |

Fonte: De autoria própria.

CARLSON et al (2003) et al diz que, inibido a entrada de umidade nos módulos fotovoltaicos de filme fino, aumentando a adesão do eletrólito óxido de estanho e colocar vidros de alta resistividade, são formas de prevenção a oxidação dos painéis solares.

EL-GHARABAWY (2018) aponta, a estrutura inoxidável sendo a mais resistente à corrosão, bem como, o Etil Vinil Acetato (EVA) contra o acúmulo de água dos módulos fotovoltaicos. Ele também especifica três modos de como pode ser controlada a corrosão, sendo eles, os coatings, os inibidores de corrosão e a seleção de materiais para a fabricação dos painéis solares.

PARK et al (2013), fez alguns testes painéis solares associando a rapidez de corrosões nos módulos fotovoltaicos à temperatura e umidade. Usando o EVA como forma de inibir essa lubricidade.

XIONG et al (2017), realizou três experimentos em módulos fotovoltaicos, colocando-os em intempéries. Onde, os parâmetros de degradação nos painéis tradicionais foram mais graves do que o painel que tinha uma cobertura de vidro duplo. Bem como, NAVARRO et al (2020), que apresentou vários tipos de corrosão. Mas, assim como ARAUJO et al (2016) e ZANESCO et al (2014), nenhum deles apresentou nenhuma solução sobre a problemática.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A partir da análise de artigos para a revisão bibliográfica, foi possível compreender melhor o processo de corrosão nos painéis solares e as possíveis soluções que podemos obter para sanar essa problemática.

Observou-se pela caracterização da pesquisa dos artigos coletados, que todos eram de autoria diferentes. Demonstrando que, pelo menos na linguagem portuguesa, não existe um autor ou grupo de autores que aborde tão profundamente o tema estudado.

Os trabalhos explorados, apontaram possíveis soluções para a corrosão nos módulos fotovoltaicos e em suas estruturas. Através dos estudos, percebe-se que, a aplicação da estrutura dos módulos solares em áreas secas e ventiladas, manter a limpeza recorrente dos módulos, evitar o uso de produtos químicos agressivos, dentre outros fatores são mediações que se devem ter para prevenção de corrosão nos painéis solares.

## 6 REFERÊNCIAS

SCOLLA, Minéia. **Avaliação do ciclo de vida de sistemas de geração de energia fotovoltaica: uma análise sob a ótica de fatores ambientais.** 2020. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

SILVA, M. et al. **Materiais aplicados à geração de energia solar em edificações.** 2018. Artigo do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis -PPGER- da Universidade Federal da Paraíba- UFPB.

MOSZKOWICZ et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil.** 2000 Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia Depto de Energia Nuclear (UFPE), Recife.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia Solar Fotovoltaica : Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica.** Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf). Acesso em: 12 nov. 2022.

PORTAL SOLAR - **Quanto tempo duram os painéis solares?** Disponível em:  
<https://www.portalsolar.com.br/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares>. Acesso em:  
23/11/2022

AMBIENTE BRASIL – **Histórico das células fotovoltaicas e a evolução da utilização de energia solar.** Disponível em:  
[https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia\\_solar/historico\\_das\\_celulas\\_fotovoltaicas\\_e\\_a\\_evolucao\\_da\\_utilizacao\\_de\\_energia\\_solar.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/historico_das_celulas_fotovoltaicas_e_a_evolucao_da_utilizacao_de_energia_solar.html). Acesso em: 10/11/2022

CANAL SOLAR – **Corrosão galvânica em estrutura metálica de sistemas fotovoltaicos,** 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/corrosao-galvanica-em-estruturas-metalicas/>. Acesso em: 11/11/2022

PET QUÍMICA – **A química por trás dos painéis solares e o funcionamento de um sistema fotovoltaico,**2022. Disponível em: <http://www.petquimica.ufc.br/a-quimica-por-tras-dos-paineis-solares-e-o-funcionamento-de-um-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 13/11/2022

OPUNS SOLAR - **Conheça o processo de fabricação dos painéis solares.** Disponível em:  
<https://opussolar.com.br/conheca-o-processo-de-fabricacao-dos-paineis-solares/> Acesso em:  
06/10/2022

CRS ENERGIA SOLAR - **Origem do sistema fotovoltaico conectado à rede.** Disponível em:  
<http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfc-r-on-grid>  
Acesso em: 23/11/2022

FONTE SUL - **Célula fotovoltaica: o que é e quais são seus tipos?** Disponível em:  
<https://www.fontesul.com.br/celula-fotovoltaica-o-que-e-e-quais-sao-seus-tipos/> Acesso em:  
09/11/2022

ECORI ENERGIA – **Módulos fotovoltaicos: monocristalino ou policristalino.** Disponível em:  
<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos---monocristalino-ou-policristalino---qual-a-melhor-dessas-duas-tecnologias-para-o-brasil>. Acesso em: 22/11/2022

TIPLER, Paul A.. **Física Moderna**. 3. ed. New York: W.H.Freeman And Company, 1999. 310 p.

EL-GHARABAWY, Abd Allah S. A.. Review on Corrosion in Solar Panels. **International Journal: SMART GRID**, Alexandria, v. 2, n. 1, p. 1-1, dez. 2018.

XIONG, Huaping. **Corrosion behavior of crystalline silicon solar cells**. 2017. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271417300069?casa\\_token=w4NmatWq7TkAAAAA:mmlBzt2e7Yri5cuMqZ34xA8rsIszoiQLTB4sPCgBpsvcNUvqYKkmgDcajXTKUy1b2s9sI50twQ](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271417300069?casa_token=w4NmatWq7TkAAAAA:mmlBzt2e7Yri5cuMqZ34xA8rsIszoiQLTB4sPCgBpsvcNUvqYKkmgDcajXTKUy1b2s9sI50twQ). Acesso em: 16 nov. 2022.

ZANESCO, Izete. **ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS FABRICADOS COM DIFERENTES CÉLULAS SOLARES**. 2014. Disponível em: [https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/21016/2/Anlise\\_da\\_degradaao\\_de\\_mdulos\\_fotovoltaiicos\\_fabricados\\_com\\_diferentes\\_tecnologias.pdf](https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/21016/2/Anlise_da_degradaao_de_mdulos_fotovoltaiicos_fabricados_com_diferentes_tecnologias.pdf). Acesso em: 16 nov. 2022.

ARAËJO, Ana Júlia Nunes de. **ANÁLISE DOS FATORES DE PERDAS NOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA EM CURITIBA**. 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10066>. Acesso em: 16 nov. 2022.

PARK, N. C.. **Effect of Temperature and Humidity on the Degradation Rate of Multicrystalline Silicon Photovoltaic Module**. 2013. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2013/925280/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

NAVARRO, Giovana Ribeiro. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE COBERTURA METÁLICA EM ARCO PARA ACRÉSCIMO DE SOBRECARGA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**. Disponível em: [https://www.unipar.br/documentos/264/ANALISE\\_ESTRUTURAL\\_DE\\_COBERTURA\\_METALICA\\_EM\\_ARCO\\_PARA\\_ACRESCIMO\\_DE\\_SOBRECARGA.pdf](https://www.unipar.br/documentos/264/ANALISE_ESTRUTURAL_DE_COBERTURA_METALICA_EM_ARCO_PARA_ACRESCIMO_DE_SOBRECARGA.pdf). Acesso em: 16 nov. 2022.

CARLSON, D. E.. **Corrosion Effects in Thin-Film Photovoltaic Modules**. 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/pip.500>. Acesso em: 16 nov. 2022.